

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

Request Form for Translation

Translation Branch
The world of foreign prior art to you.

U. S. Serial No. : 09/485 852

Requester's Name: Paul Brock

Phone No. : 308-6236

Fax No. : _____

Office Location: CP4-4B16

Art Unit/Org. : 2815

Group Director: _____

Is this for Board of Patent Appeals? _____

Date of Request: 9-20-01

Date Needed By: 10-10-01

(Please do not write ASAP-indicate a specific date)

PTO 2001-4366

S.T.I.C. Translations Branch

Phone: 308-0881
Fax: 308-0989
Location: Crystal Plaza 3/4
Room 2C01

SPE Signature Required for RUSH: _____

Document Identification (Select One):

** (Note: Please attach a complete, legible copy of the document to be translated to this form) **

1. ☒ Patent Document No. 2-94573
Language JAPANESE
Country Code JP
Publication Date 4-5-90
_____ (filled by STIC)

2. ☐ Article Author _____
Language _____
Country _____

3. ☐ Other Type of Document _____
Country _____
Language _____

Document Delivery (Select Preference):

☒ Delivery to Exmr. Office/Mailbox Date: 10-10-01 (STIC Only)

☐ Call for Pick-up Date: _____ (STIC Only)

To assist us in providing the most cost effective service, please answer these questions:

Will you accept an English Language Equivalent?
No (Yes/No)

Will you accept an English abstract?
No (Yes/No)

Would you like a consultation with a translator to review the document prior to having a complete written translation?
No (Yes/No)

Check here if Machine Translation is not acceptable:
(It is the default for Japanese Patents, '93 and onwards with avg. 5 day turnaround after receipt)

STIC USE ONLY

Copy/Search

Processor: _____

Date assigned: _____

Date filled: _____

Equivalent found: _____ (Yes/No)

Doc. No.: _____

Country: _____

Remarks: _____

Translation

Date logged in: 9.11.01

PTO estimated words: 3180

Number of pages: 15

In-House Translation Available: _____

In-House: _____

Translator: _____

Assigned: _____

Returned: _____

Contractor: _____

Name: SC

Priority: 9.11.01

Sent: 10-10-01

Returned: _____

PTO 01-4366

Japan Kokai

02-94573

PHOTODETECTOR

[Hikari Kenshutsuki]

Koichi Wakita, Isami Kotaka and Seishi Nakao

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Washington, D. C.

October 2001

Translated by: Schreiber Translations, Inc.

Country : Japan
Document No. : 02-94573
Document Type : Kokai
Language : Japanese
Inventor : Koichi Wakita, Isami Kotaka,
Seishi Nakao
Applicant: : Nippon Telephone &
Telecommunication Co., Ltd.
IPC : H 01 L 31/0264
Application Date : September 30, 1988
Publication Date : April 5, 1990
Foreign Language Title : Hikari Kenshutsuki
English Title : PHOTODETECTOR

I. Title of the Invention

Photodetector

II. Claims

1. A photodetector having a quantum well structure, characterized by adding an element C possessed as the bulk of above quantum well layer for increasing the energy gap to the quantum well layer AB of said quantum well structure which consists of a compound semiconductor crystal AB comprising elements A and B for forming the quantum well layer and a mixed crystal compound semiconductor $A_{1-x}C_xB$ ($0 < x \leq 1$) comprising elements A, B and C for forming a barrier layer,

2. The photodetector described in Claim 1, characterized by that the above well layer is taken as $A_{1-u-v}C_uD_vB$ when the above quantum well is $A_{1-x}C_xB$ and the barrier layer is $A_{1-y}D_yB$.

3. The photodetector described in Claim 1, characterized by that the above well layer is taken as $AB_{1-x}C_x$ by adding C to the above well layer when the above quantum well layer is AB and the barrier layer is AC.

4. The photodetector described in Claim 1, characterized by that the energy gap of above well layer is taken to be large by adding an element D to the above well layer when the above quantum

¹ Numbers in the margin indicate pagination in the foreign text.

well layer is $A_{1-x}B_xC$ and the barrier layer is BC .

5. A photodetector having a quantum well structure, characterized by that on an InP crystalline substrate with the first conductive form, electrodes are formed on both side of a multilayer structure given by allowing the following layers to grow in order, respectively:

(a) an InP layer with the first conductive form or an $In_{0.53}(Ga_{1-x}Al_x)_{0.47}As$ layer ($0 < x \leq 1$), (b) a layer having a quantum well structure in which an $In_{0.53}(Ga_{1-y}Al_y)_{0.47}As$ layer ($0 < y \leq x$) and an $In_{0.53}(Ga_{1-z}Al_z)_{0.47}As$ layer ($0 < z \leq y$) are alternately laminated, (c) an InP layer or $In_{0.53}(Ga_{1-x}Al_x)_{0.47}As$ layer and (d) an $In_{0.53}(Ga_{0.47})As$ layer with the second conductive form,

/2

a wave-guide path for a light incident from one endface of above quantum well structure to outgo from the other endface is formed, and multiple independent electrodes are arranged in the traveling direction of said light.

6. The photodetector described in Claim 5, characterized by that the combination of a quantum well layer and a barrier layer is any material system of ZnSe/ZnTe, InGaSb/GaSb, InGaP/InAlP, GaSb/AlGaSb, respectively in the above quantum well structure.

7. The photodetector described in Claim 5, characterized by that the layer having the above quantum well structure is a multilayer film in which an $In_{1-u}Ga_uAs_{1-v}P_v$ layer and an $In_{1-t}Ga_tAs_{1-w}P_w$ layer

($0 \leq u$, $0 < v \leq 1$, $0 \leq w$, $u < t$) are alternately laminated.

8. A photodetector having a quantum well structure, characterized by that on a GaAs crystal substrate having the first conductive form, electrodes are formed on both side of a multilayer structure given by allowing the following layers to grow in order, respectively:

(a') an $\text{Al}_{1-s}\text{Ga}_s\text{As}$ layer ($0 < s < 1$), (b') a layer having a quantum well structure in which an AlGaAs layer ($0 < r \leq 1$) and an AlAs layer are alternately laminated and (c') a GaAs layer having the second conductive form, a wave-guide path for a light incident from one endface of above quantum well structure to outgo from the other endface is formed, and multiple independent electrodes are arranged in the traveling direction of said light.

9. The photodetector described in any of Claim 1 to Claim 8, characterized by that the above quantum well structure is a structure given by adding some Al or P into a quantum well.

III. Detailed Description of the Invention

(Field of Industrial Application)

This invention relates to a photodetector having the wavelength selectivity which enables to detect an incident multiwavelength light independently.

(Prior Art)

In the optical communication, the transmission of light with a single wavelength has mainly been put to practical use so far,

but a wavelength-multiplexed light transmission mode which can transmit a higher density of information by one optical fiber cable has been studied recently. Spectrometers for sorting a multiwavelength light, etc. are needed and respective photodetectors for respective wavelengths are necessary, thus the constitution is complicated and becomes expensive. The impartation of a wavelength selecting function to the detectors themselves has been proposed and tested (*Applied Physics Letters*, **47**, 866 - 868 (1985), American Applied Physics Society) as one of methods for solving these problems.

Its principle consists in that a quantum well structure is adopted, an electric field is applied perpendicularly to its layers, and an effect of shifting absorption spectra to the long-wavelength side is utilized. Fig. 8 shows this effect, i.e., the applied voltage dependence of light absorption current spectra when a light is incident parallelly upon layers in a quantum well structure consisting of GaAs and $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ (100 Å/50 Å). Namely, if electrodes 6-1, 6-2 of Fig. 1 are equalized and a reverse voltage is applied to the elements, its absorption spectra are shown as Fig. 8, and the absorption peaks shift to the long-wavelength side. Therefore, for example, lights of 850 nm and 870 nm in wavelength can be detected independently as A_1 , A_2 because the wavelength of absorbed lights is changed corresponding to the value of applied voltage. By this effect, the absorption spectral change

is steeper than common bulk because the quantum well structure is adopted.

[Subject to Be Solved by the Invention]

In the above prior art, however, the range of wavelength shift is limited (a shift of about 200 Å by applying 18 V in the above prior example), the applied voltage also naturally has a limitation and a crosstalk between different wavelengths, therefore it was not said to be sufficient.

The present invention is aimed at obtaining a photodetector which has a large change of absorption-end wavelength by low-voltage driving and a high-efficiency wavelength selectivity.

[Means for Solving the Subject]

The above purpose is achieved by thickening the well layer in the quantum well structure and making the composition of said well layer to InGaAlAs, InGaAsP or GaAlAs.

/3

[Actions]

It has been known that when an electric field is perpendicularly applied to a quantum well layer, the energy shift at the absorption end thereof is proportional to the biquadratic of thickness L_z of said quantum well in a low electric field, and a structure with a large L_z had better be used to obtain a large energy shift (G. Bastard et al., *Physical Review B*, **28**, 3241 - 3245 (1983)).

On the other hand, if the thickness of said quantum well is increased, the quantum size effect reduces, the absorption-end energy of said quantum well decreases as well as the vibrator intensity based on an exciton (electron-hole pair) reduces with L_z . In Fig. 9, the well width L_z dependence of electric field effect of this absorption peak shift is examined for a multiple quantum well taking a quantum well layer, which lattice matches with an InP substrate of InGaAs/InP series, as $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ and a barrier layer. Solid lines represent calculated values and plotted points represent experimental values, and it is judged that they are nearly in a good agreement with the above calculated values, the greater the L_z , the bigger the energy shift. However, this absorption-end energy is $1.46\text{ }\mu\text{m}$ for $L_z = 70\text{ }\text{\AA}$ while $1.605\text{ }\mu\text{m}$ for $L_z = 100\text{ }\text{\AA}$, a large absorption exists at $L_z = 100\text{ }\text{\AA}$ for commonly well used wave-length $1.55\text{ }\mu\text{m}$ band regardless of the presence or absence of an electric field, thus this is unsuitable. Such results are also the same when $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ lattice matching with InP is used in the barrier layer, this is because its absorption-end energy is decided by the layer thickness of said quantum well layer. Accordingly, if some Al or P is added to the quantum well InGaAs to increase the layer thickness while increase the absorption-end energy, the absorption-end energy can be fixed to $1.5\text{ }\mu\text{m}$ while have a large energy. Based on such an examination, the energy shift of a quaternary quantum well layer $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$

lattice matching with the InP substrate under an electric field of 100 kV/cm is expressed as a function of the Al amount under a condition that the absorption-end is fixed to 1.5 μm at the electric field of 0 in Fig. 10. Moreover, the energy gap of said quarternary well layer as bulk is also shown at the same time. It is known that the shift amount increases with thickening the width of well by adding a very little Al. Generally, if the composition of well shifts to the direction in which the energy gap increases, the energy difference with the barrier layer decreases and the quantum size effect reduces, but the change of energy difference is not significant and the reduction of quantum size effect is also little because only an extremely small Al is added in this invention. Actually, when a quantum well of thickness 100 Å and 30 cycles was prepared (barrier InAlAs 50 Å), a quantum effect is clearly observed as shown in Fig. 11. Fig. 11 shows the voltage dependence of light absorption current of a quantum well structure when a light is parallelly incident upon the quantum well layer based on the present invention in which a little Al is added, a clear exciton absorption is observed at room temperature, and a shift of its absorption peak to the long-wavelength side due to voltage is large. A shift of about 600 Å exists at an applied voltage of 6 V, this shift amount is also about three times as much as the shift amount of a ternary $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ well (well width about 70 Å) due to voltage with an absorption peak of same position as

an absorption peak at the applied voltage of 0, thus the effectiveness of present invention was confirmed. Fig. 12 shows the energy shift in the case of applying the present invention to an InGaAsP quantum well which lattice matches with InP, and its condition is same as Fig. 10. Namely, when the electric field intensity is fixed to 100 kV/cm and the absorption end at the electric field of 0 is fixed to 1.5 μm , the proportion of InGaAs in InGaAsP is taken as a function. It is known that the energy shift greatly changes due to the addition of only a little P. For example, it can be expected that the shift amount becomes double or more by 5% P addition as compared with InGaAs.

[Actual Examples]

Next, actual examples of present invention is illustrated with drawings. Fig. 1 is a schematic diagram showing Actual Example 1 of a photodetector based on the present invention, Fig. 2 is a chart showing the photoresponse waveform of above Actual Example 1, Fig. 3 is a diagram showing Actual Example 2 based on the present invention, Fig. 4 is a diagram showing Actual Example 3 based on the present invention, Fig. 5 is a diagram showing Actual Example 4 based on the present invention, and Fig. 6 is a diagram showing Actual Example 5 based on the present invention. In the Actual

/4

Example 1 as shown in Fig. 1, an $\text{In}_{0.52}\text{Ga}_{0.48}\text{As}$ clad layer 2 is allowed to grow on an InP substrate, a multiple quantum well

structure **3** composed of an InGaAlAs quantum well layer and an $\text{In}_{0.52}\text{Ga}_{0.48}\text{As}$ barrier layer is formed thereon, an InAlAs clad layer **4** is attached thereto and an InGaAs gap layer **5** is further laminated. For a mesa shape of sample shown in Fig. 1, the width is $36\text{ }\mu\text{m}$ and the length L of interaction with light is $55 - 340\text{ }\mu\text{m}$. The diagram shown in Fig. 2 is the photoresponse waveform of above sample, when a light of 615 nm in incident light wavelength and 300 fsec in half-value width is irradiated perpendicularly on the cleavage plane of above sample, a voltage induced as a photodetection waveform is shown at both ends of sample. A rise of 30 psec and a fall of 140 psec are obtained, thus a high-speed responsibility is proved.

In Actual Example 2 shown in Fig. 3, multiple electrodes 6-1, 6-2, 6-3 are arranged in the traveling direction of light, the voltage applied to the above electrodes is changed according to the incident light wavelength and the detection wavelength can be selected. Namely, the applied voltage is made to 1 V in the first electrode 6-1 so that a light of $1.51\text{ }\mu\text{m}$ in wavelength can be received, the applied voltage is made to 3 V in the second electrode 6-2 so that a light of $1.53\text{ }\mu\text{m}$ in wavelength is received, and the applied voltage is made to 6 V in the third electrode 6-3 so that a light of $1.55\text{ }\mu\text{m}$ in wavelength is detected. For the electric separation of said electrodes, an electric insulation is prepared by a proton driving (120 keV , dose $5 \times 10^7\text{ cm}^{-2}$) and making

its depth to be same as the depth of combining the p-InAlAs clad layer 4 with the p-InAlAs gap layer 5. The resistances among the electrodes is over 1 G Ω . The element capacity is also reduced by proton driving for accelerating in the diagram.

In Actual Example 3 shown in Fig. 4, ion milling or dry etching separation grooves are formed for the separation of electrodes 6-2, 6.3, 6-4, 6-5. Because the electric separation may also be made without using the proton driving and incident lights λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 pass through segments then come out to air in this case, there is a reflection of lights and a possibility of losing the detection sensitivity.

Actual Example 4 shown in Fig. 5 is devised by making a mesa structure for low capacity so as to detect a light, and the electrode separation based on the proton driving is easy.

In Actual Example 5 shown in Fig. 6, a ridge-like waveguide path is prepared for transverse mode individualization and low capacity, and grooves formed by ion milling or dry etching are utilized for electric insulation. In both Fig. 3 and Fig. 4, the shift of absorption peak wavelength is big because of a large electric field effect by adoption of a quaternary quantum well, a higher wave-length selectivity and a smaller crosstalk than prior examples are achieved by a low applied voltage, thus the usefulness of present invention is confirmed. Moreover, the insulation may also be made by performing the proton driving in place of the

grooves.

Furthermore, the combination of a quantum well layer/a barrier layer of InGaAlAs/InAlAs, InGaAsP/InP long-wavelength materials was given in the description of present invention, but other material systems such as GaAlAs/AlAs, ZnSe/ZnTe, InGaSb/GaSb, InGaP/InAlP, GaSb/AlGaSb, etc. can also be applied. Still more, the case of lattice matching with the InP substrate crystal was described, but the above effects certainly exists without the lattice matching, therefore, it is possible to apply the present invention in a wide wavelength range.

[Effects of the Invention]

As described above, the photodetector based on the invention enables to realize a photodetector having an efficient wavelength selectivity because the absorption-end energy is not changed and can be fixed to a useful wavelength by selecting the composition of materials adopted in the quantum well even if the well width is thickened and a large absorption-end wavelength shift is given by a low voltage application by forming electrodes on both side of a multi-layer structure given by allowing the following layers to grow in order, respectively: (a) an InP layer with the first conductive form or an $\text{In}_{0.53}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{0.47}\text{As}$ layer ($0 < x \leq 1$), (b) a layer having a quantum well structure in which an $\text{In}_{0.53}(\text{Ga}_{1-y}\text{Al}_y)_{0.47}\text{As}$ layer ($0 < y \leq x$) and an $\text{In}_{0.53}(\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z)_{0.47}\text{As}$ layer ($0 < z \leq y$) are alternately laminated, (c) an InP layer or $\text{In}_{0.53}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{0.47}\text{As}$ layer

and (d) an $\text{In}_{0.53}(\text{Ga}_{0.47})\text{As}$ layer with the second conductive form, forming a wave-guide path for a light incident from one endface of above quantum well structure to outgo from the other endface and

/5

arranging multiple independent electrodes are arranged in the traveling direction of said light on an InP crystalline substrate with the first conductive form in the photodetector having the quantum well structure.

IV. Simple Description of the Drawings

Fig. 1 is a schematic diagram showing Actual Example 1 of a photodetector based on the present invention, Fig. 2 is a chart showing the photoresponse waveform of above Actual Example 1, Fig. 3 is a diagram showing Actual Example 2 based on the present invention, Fig. 4 is a diagram showing Actual Example 3 based on the present invention, Fig. 5 is a diagram showing Actual Example 4 based on the present invention, and Fig. 6 is a diagram showing Actual Example 5 based on the present invention, Fig. 7 is an oblique view of a prior wavelength selection photodetector, Fig. 8 is a chart showing the applied voltage dependence of light absorption spectra in the above prior example, Fig. 9 is a diagram showing the well width dependence of absorption peak shift in the above prior quantum well structure, Fig. 10 is a diagram of relationship between energy shift and Al addition for an In_{1-x} -

$y\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}/\text{InP}$ quantum well structure, Fig. 11 is a chart showing the voltage dependence of absorption current spectra for $\text{InGaAlAs}/\text{InAlAs}$ quantum well structure, and Fig. 12 is a diagram showing the relationship between energy shift and P addition for an $\text{InGaAsP}/\text{InP}$ quantum well structure.

- 1 ... substrate
- 2 ... first conductive form clad layer
- 3 ... multiple quantum well structure
- 4 ... second conductive form clad layer
- 5 ... gap layer
- 6 ... p-side electrodes 6-1, 6-2, 6-3, 6-4, 6-5 ...
- 7 ... n-side electrode

Keys to Figure 1:

(1) 30 cycles; (2) light

Keys to Figure 2:

1 substrate; 2 first conductive form clad layer; 3 multiple quantum well structure; 4 second conductive form clad layer; 5 gap layer; 6 p-side electrodes 6-1, 6-2, 6-3, 6-4, 6-5; 7 n-side electrode

/6

Keys to Figure 7:

(1) non-doped superlattice

Keys to Figure 8:

(1) Light absorption current (any graduation); (2) Wavelength (nm)

Keys to Figure 9:

(1) Energy shift (meV); (2) experimental values; (3) Calculated value

Keys to Figure 10:

(1) Wavelength (μm); (2) Energy shift (meV); (3) well width
(4) well constitution bulk absorption-end wavelength; (5) InAlAs proportion in InGaAlAs

Keys to Figure 11:

(1) Light absorption current (any graduation); (2) Wavelength (μm)

Keys to Figure 12:

(1) energy shift; (2) well width; (3) (•) Energy shift (meV);
(4) (◦) Wavelength (μm); (5) (Δ) Well width (\AA); (6) wavelength;
(7) InAlAs proportion in InGaAlAs

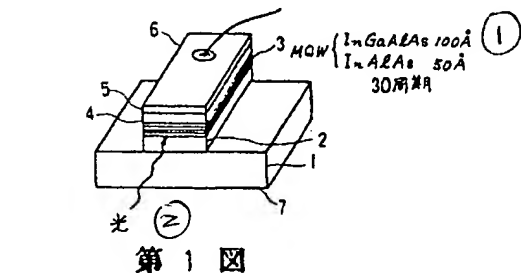
よっても大きな吸収端波長シフトがあるため、効率的な波長選択性をもつ光検出器を実現することができる。

4. 図面の簡単な説明

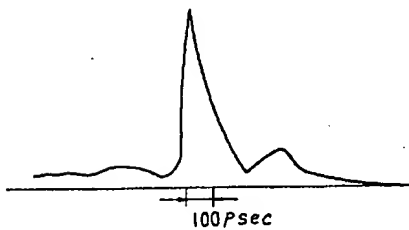
第1図は本発明による光検出器の第1実施例を示す説明図、第2図は上記実施例の光応答波形を示す図、第3図は本発明による第2実施例を示す図、第4図は本発明の第3実施例を示す図、第5図は本発明の第4実施例を示す図、第6図は本発明の第5実施例を示す図、第7図は従来の波長選択光検出器の斜視図、第8図は上記従来例における光吸収スペクトルの印加電圧依存性を示す図、第9図は従来の量子井戸構造における吸収ピークシフトの井戸幅依存性を示す図、第10図は $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}/\text{InP}$ 系量子井戸構造のエネルギーシフトとAl添加の関係図、第11図は $\text{InGaAlAs}/\text{InAlAs}$ 量子井戸構造の吸収電流スペクトルの電圧依存性を示す図、第12図は $\text{InGaAsP}/\text{InP}$ 系量子井戸構造のエネルギーシフトとP添加の関係を示す図である。

- 1…基板
- 2…第1導電形クラッド層
- 3…多重量子井戸構造
- 4…第2導電形クラッド層
- 5…キャップ層
- 6、6-1、6-2、6-3、6-4、6-5…p側電極
- 7…n側電極

特許出願人 日本電信電話株式会社
代理人 弁理士 中村 純之助

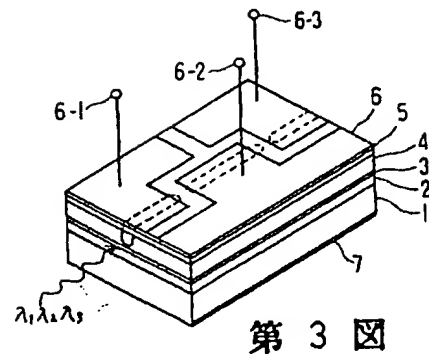


第1図

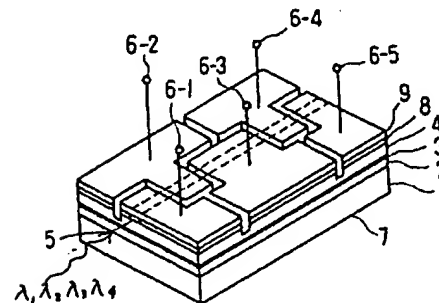


- 1:基板 2:第1導電形クラッド層 3:多重量子井戸構造
- 4:第2導電形クラッド層 5:キャップ層
- 6、6-1、6-2、6-3、6-4、6-5:p側電極 7:n側電極

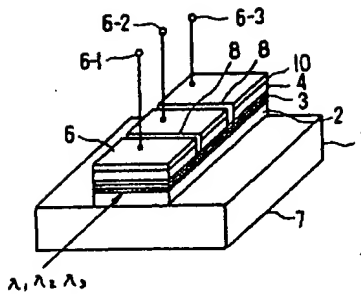
第2図



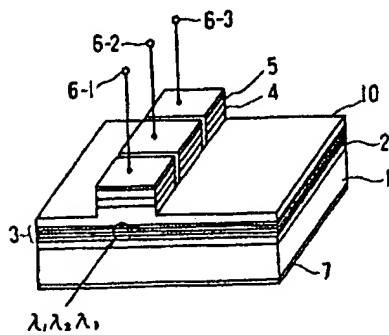
第3図



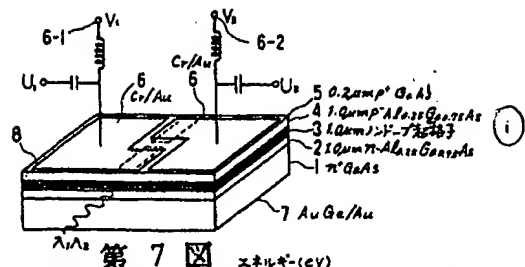
第4図



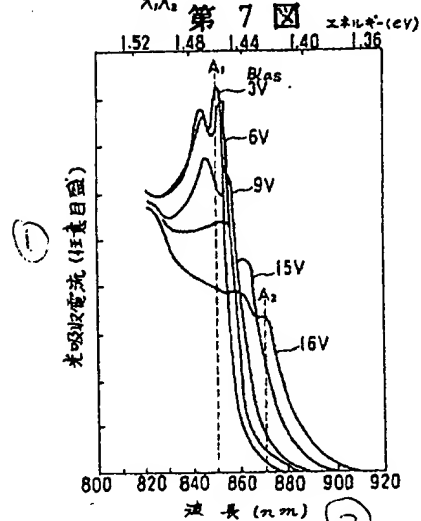
第 5 図



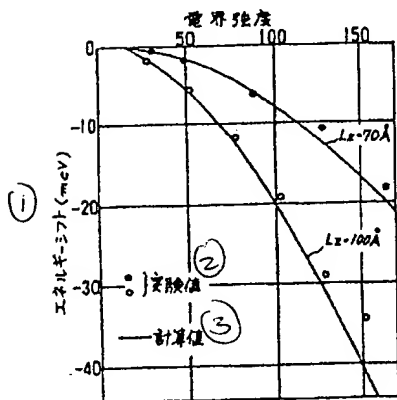
第 6 図



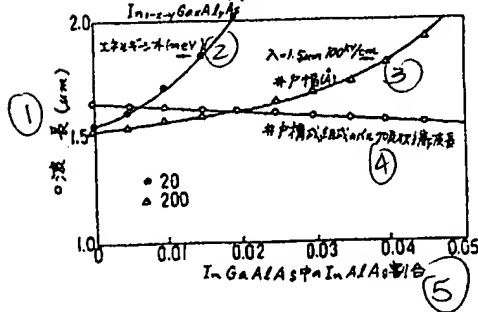
第 7 図



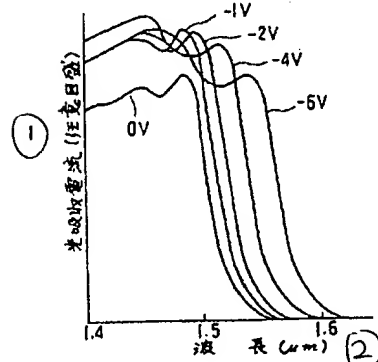
第 8 図



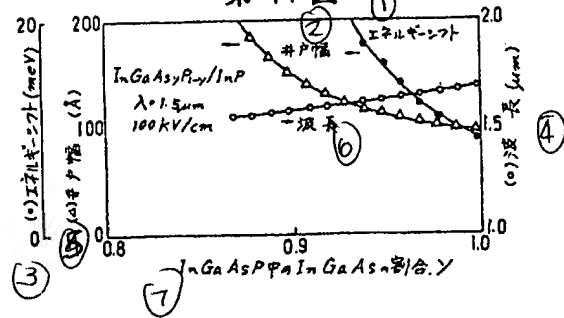
第 9 図



第 10 図



第 11 図



第 12 図

⑫ 公開特許公報(A) 平2-94573

⑤ Int. Cl.³
H 01 L 31/0264

識別記号 庁内整理番号

⑬ 公開 平成2年(1990)4月5日

7522-5F H 01 L 31/08

L

審査請求 未請求 請求項の数 9 (全6頁)

⑭ 発明の名称 光検出器

⑮ 特 願 昭63-244559

⑯ 出 願 昭63(1988)9月30日

⑰ 発 明 者 脇 田 紘 一 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑱ 発 明 者 小 高 勇 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑲ 発 明 者 中 尾 正 史 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑳ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉑ 代 理 人 弁理士 中村 純之助

PTO 2001-4366

S.T.I.C. Translations Branch

明 細 書

1. 発明の名称

光検出器

2. 特許請求の範囲

1. 量子井戸構造を有する光検出器において、量子井戸層を構成する元素AとBとからなる化合物半導体結晶AB、および障壁層を構成する元素A、B、Cからなる混晶化合物半導体 $A_{1-x}C_xB$ ($0 < x \leq 1$)により構成される量子井戸構造の井戸層ABに、上記井戸層のバルクとしてもつエネルギーギャップを大きくする元素Cを添加することを特徴とする光検出器。

2. 上記量子井戸が $A_{1-x}C_xB$ であり障壁層が $A_{1-y}D_yB$ のとき、上記井戸層を $A_{1-u-v}C_uD_vB$ としたことを特徴とする特許請求の範囲第1項に記載した光検出器。

3. 上記量子井戸層がABであり障壁層がACのとき、上記井戸層にCを添加して

$AB_{1-x}C_x$ としたことを特徴とする特許請求の範囲第1項に記載した光検出器。

4. 上記量子井戸層が $A_{1-x}B_xC$ であり障壁層がBCのとき、上記井戸層に元素Dを添加して、そのエネルギーギャップを大としたことを特徴とする特許請求の範囲第1項に記載した光検出器。

5. 量子井戸構造を有する光検出器において、第1の導電形を有するInP結晶基板に、
(a) 第1の導電形を有するInP層または $In_{0.5-0.9}(Ga_{1-x}Al_x)_{0.5-0.9}As$ 層 ($0 < x \leq 1$)、
(b) $In_{0.5-0.9}(Ga_{1-y}Al_y)_{0.5-0.9}As$ 層 ($0 < y \leq x$) および $In_{0.5-0.9}(Ga_{1-z}Al_z)_{0.5-0.9}As$ 層 ($0 < z < y$) を交互に積層した量子井戸構造を有する層、(c) 第2の導電形を有するInP層または $In_{0.5-0.9}(Ga_{1-x}Al_x)_{0.5-0.9}As$ 層、(d) 第2の導電形を有する $In_{0.5-0.9}Ga_{0.5-0.9}As$ 層の各層を、順次成長させた多層構造の両面にそれぞれ電極を形成し、上記量子井戸構造の一方の端面から入射した

光を他の端面から出射する導波路を形成し、光の進行方向に複数の独立した電極を設けたことを特徴とする光検出器。

6. 上記量子井戸構造は、量子井戸層と障壁層との組み合わせが、それぞれ ZnSe/ZnTe 、 $\text{InGaSb}/\text{GaSb}$ 、 $\text{InGaP}/\text{InAlP}$ 、 $\text{GaSb}/\text{AlGaSb}$ のうち、いずれかの材料系であることを特徴とする特許請求の範囲第5項に記載した光検出器。

7. 上記量子井戸構造を有する層は、

$\text{In}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}_{1-v}\text{P}_v$ および

$\text{In}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}_{1-w}\text{P}_w$ ($0 \leq u$ 、 $0 < v \leq 1$ 、 $0 \leq w$ 、 $u < t$) を交互に積層した多層膜であることを特徴とする特許請求の範囲第5項に記載した光検出器。

8. 量子井戸構造を有する光検出器において、第1の導電形を有する GaAs 結晶基板上に、(a') 第1の導電形を有する $\text{Al}_{1-s}\text{Ga}_s\text{As}$ 層 ($0 < s < 1$)、(b') AlGaAs 層 ($0 < r \leq 1$) と AlAs 層とを交互に積層した量

子井戸構造を有する層、(o') 第2の導電形を有する GaAs 層の各層を順次成長させた多層構造の両面にそれぞれ電極を形成し、上記量子井戸構造の一方の端面から入射した光を他の端面から出射する導波路を形成し、光の進行方向に複数の独立した電極を設けたことを特徴とする光検出器。

9. 上記量子井戸構造は、若干の Al あるいは P を量子井戸に添加したものであることを特徴とする特許請求の範囲第1項ないし第8項のいずれかに記載した光検出器。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、入射する多波長光を独立に検出できる波長選択性をもつ光検出器に関するものである。(従来の技術)

光通信においては、これまで主として単一波長をもつ光の伝送が実用化されてきたが、近年、より高密度の情報を1本の光ファイバケーブルで伝送できる波長多重光伝送方式が検討されている。

多波長の光を選別するには分光器等が必要になり、また、それぞれの波長に対しては、それぞれの光検出器が必要であって、構成が複雑になるとともに高価なものになっていた。これらの問題を解決する方法の一つに、波長選択機能を検出器自体にもたせることが提案され、実験されている(米国応用物理学会 (Applied Physics Letters) 47巻、866頁-868頁、1985年)。

その原理は、量子井戸構造を採用して、その層に垂直方向に電界を印加し、吸収スペクトルが電界により長波長側にシフトする効果(量子閉じ込めシュタルク効果という)を利用している。第8図はその効果を示すもので、 GaAs と $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ (100Å/50Å) からなる量子井戸構造に、光を層に平行に入射したときの光吸収電流スペクトルの印加電圧依存性を示す。すなわち、第1図の電極6-1、6-2を同一にして素子に逆方向電圧を加えると、その吸収スペクトルは第8図に示すようになり、吸収ピークは長波長側にシフトする。したがって、印加電圧の値に応

じて吸収される光の波長が変えられるので、例えば、波長850nmと870nmの光が A_1 、 A_2 として独立に検出できている。この効果は通常のバルクに比べ、量子井戸構造を採用したために、吸収スペクトル変化が急峻である。

(発明が解決しようとする課題)

しかしながら、上記従来技術では、波長がシフトする範囲が限られ(上記従来例では18V印加で約200Åのシフト)、加えられる電圧もおのずから限界があり、また、異種波長間でのクロストークもあり、十分とはいえなかった。

本発明は、低電圧駆動で吸収端波長の変化が大きく、高効率な波長選択性を有する光検出器を得ることを目的とする。

(課題を解決するための手段)

上記目的は、量子井戸構造中の井戸層を厚くし、かつ、井戸層の組成を InGaAlAs または InGaAsP 、あるいは GaAlAs にすることにより達成される。

〔作用〕

量子井戸層に垂直に電界を印加したとき、その吸収端のエネルギーシフトは、低電界において量子井戸の厚さ L_z の4乗に比例することが知られており、大きなエネルギーシフトを得るには L_z が大きい構造を採用すればよい(G. Bastardら、フィジカル・レビュー・ビー(Physical Review B) 28巻 3241頁-3245頁、1983年)。

一方、量子井戸の厚さを厚くしていくと、量子サイズ効果は減少し、量子井戸の吸収端エネルギーが小さくなり、また、励起子(電子-正孔対)に基づく振動子強度は L_z とともに減少する。第9図はInGaAs/InP系のInP基板と格子整合する量子井戸層を $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ 、障壁層をInPとする多重量子井戸について、その吸収ピークシフトの電界効果の井戸幅 L_z 依存性を調べたものである。実験値を示しプロットした各点は実験値を示すが、ほぼ上記計算値とは良く一致し、 L_z が大きい程エネルギーシフトが大きくなることが判る。しかし、その吸収端エネ

ギーは $L_z=70\text{\AA}$ に対して $1.46\mu\text{m}$ であるのに対し、 $L_z=100\text{\AA}$ では $1.605\mu\text{m}$ となり、通常よく使用される波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯に対しては、 $L_z=100\text{\AA}$ のものは電界の有無にかかわらず大きな吸収が存在し、不適である。このような結果は、障壁層にInPに格子整合する $\text{In}_{0.53}\text{Al}_{0.47}\text{As}$ を用いた場合も同様であり、量子井戸層の層厚によってその吸収端エネルギーが決定されてしまうためである。そこで量子井戸InGaAsに若干のAlあるいはPを添加して、その吸収端エネルギーを大きくしつつその層厚を厚くしてやれば、大きなエネルギーを有しながら吸収端エネルギーを $1.5\mu\text{m}$ 帯に固定できる。第10図はこのような考察に基づいて、

InP基板に格子整合する4元量子井戸層

$\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ の電界 100kV/cm 下におけるエネルギーシフトを、電界0での吸収端が $1.5\mu\text{m}$ に固定した条件下で、Alの添加量の関数として示したものである。また、4元井戸層のバルクとしてのエネルギーギャップも同時に示した。非常に僅かなAlの添加で、井戸の幅が厚くなるにしたが

いシフト量が大きくなることが判る。一般には、井戸の組成をエネルギーギャップが増加する方向にずらすと、障壁層とのエネルギー差が小さくなり、量子サイズ効果が減少するが、本発明では極く微量のAl添加であるため、顕著なエネルギー差の変化はなく、量子サイズ効果の低下も少ない。実際、 $\text{In}_{0.53}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{0.47}\text{As}$ ($x=0.06$) 量子井戸を厚さ 100\AA 30周期作製した(障壁層InAlAs 50\AA)ところ、量子効果は第11図に示すように明瞭に観測された。第11図は量子井戸に僅かのAlを添加した本発明に基づく量子井戸構造の、光を量子井戸層に平行に入射したときの光吸収電流スペクトルの電圧依存性を示すもので、室温において明瞭な励起子吸収が観測されており、また、その吸収ピーク位置の電圧による長波長側へのシフトが大きい。6Vの印加電圧で約 600\AA のシフトがあり、このシフト量は印加電圧0における吸収ピーク位置と同じ吸収ピークをもつ3元 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 井戸(井戸幅約 70\AA)の電圧によるシフト量に比べ約3倍もあり、本発明の有

効性が確認された。第12図は本発明をInPに格子整合するInGaAsP量子井戸に適用した場合のエネルギーシフトを示すもので、その条件は第10図と同様である。すなわち、電界強度 100kV/cm 、電界0での吸収端を $1.5\mu\text{m}$ に固定したとき、InGaAsP中のInGaAsの割合を関数としている。僅かなPの添加によりエネルギーシフトが大きく変ることがわかる。例えば、InGaAsに比べ、5%のP添加でシフト量は2倍以上になることが予想できる。

〔実施例〕

つぎに本発明の実施例を図面とともに説明する。第1図は本発明による光検出器の第1実施例を示す説明図、第2図は上記実施例の光応答波形を示す図、第3図は本発明による第2実施例を示す図、第4図は本発明の第3実施例を示す図、第5図は本発明の第4実施例を示す図、第6図は本発明の第5実施例を示す図である。第1図に示した第1実施例は、InP基板1の上に $\text{In}_{0.53}\text{Al}_{0.47}\text{As}$ クラッド層2を成長させ、その上にInGaAlAs

量子井戸層と $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ 障壁層とからなる多重量子井戸構造3を形成し、その上に InAlAs クラッド層4をつけ、さらに InGaAs キャップ層5を積層したものである。第1図に示す試料のメサ形状は、横幅 W が $36\mu\text{m}$ 、光との相互作用長 L が $55\sim 340\mu\text{m}$ のものである。第2図に示す図は上記試料の光応答波形で、入射光波長 615nm 、半値幅 300fsec の光を、上記試料の劈開面に垂直（量子井戸層に平行）に照射したとき、試料両端に光検出波形として誘起される電圧を示している。立上り 30psec 、立下り 140psec が得られ、高速応答性が立証されている。

第3図に示す第2実施例は、光の進行方向に複数の電極6-1、6-2、6-3を設け、入射波長に応じて上記各電極に加える電圧を変え、検出する波長を選択できるようになっている。すなわち、第1の電極6-1では印加電圧を 1V にして波長 $1.51\mu\text{m}$ の光が受光できるようにし、第2の電極6-2では印加電圧を 3V にして波長 $1.53\mu\text{m}$ の光を受光し、第3の電極6-3では印加電圧を 6

V にして波長 $1.55\mu\text{m}$ の光を検出している。上記各電極の電氣的分離は、プロトン打込み (120keV 、 $5\times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ のドーズ量) により作製し、その深さを $p\text{-InGaAs}$ キャップ層5に $p\text{-InAlAs}$ クラッド層4を合わせた深さと同じにして電氣的な絶縁を行っている。各電極間の抵抗は $1\text{G}\Omega$ 以上である。図では高速化用に素子容量もプロトン打込みで低減化している。

第4図に示す第3実施例は、各電極6-1、6-2、6-3、6-4、6-5間の分離のために、イオンミリングあるいはドライエッチング分離溝を形成している。この場合はプロトン打込みを用いなくても電氣的な分離はよいが、入射光 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 は各セグメントを通過したあと再び空気中に出るので、光の反射があり、検出感度をおとす可能性がある。

第5図に示す第4実施例は、低容量化のためメサ構造にして光を検出するように工夫したものであり、プロトン打込みによる電極分離が容易である。

第6図に示す第5実施例は、横モード単一化と低容量化のために、リッジ形の導波路を作製し、電氣的絶縁はイオンミリングあるいはドライエッチングで形成された溝を利用している。第3図および第4図とともに、4元量子井戸採用による大きな電界効果のため、吸収ピーク波長のシフトは大きく、従来例に比べて大きな波長選択性と小さなクロストークが、小さな印加電圧で達成されており、本発明の有用性が確認されている。なお、溝のかわりにプロトン打込みを行って絶縁化しても差支えない。

また、本発明の説明には $\text{InGaAlAs}/\text{InAlAs}$ 、 $\text{InGaAsP}/\text{InP}$ 系長波長材料の量子井戸層/障壁層の組合わせについて記したが、 $\text{GaAlAs}/\text{AlAs}$ 、 ZnSe/ZnTe 、 $\text{InGaSb}/\text{GaSb}$ 、 $\text{InGaP}/\text{InAlP}$ 、 $\text{GaSb}/\text{AlGaSb}$ 等の他の材料系についても適用することができる。さらに、 InP 基板結晶と格子整合する場合について説明したが、特に格子整合しなくても上記効果があることはいうまでもなく、したがって、広

い波長範囲にわたって適用することが可能である。
〔発明の効果〕

上記のように本発明による光検出器は、量子井戸構造を有する光検出器において、第1の導電形を有する InP 結晶基板上に、(a) 第1の導電形を有する InP 層または $\text{In}_{0.52}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{0.48}\text{As}$ 層 ($0 < x \leq 1$)、(b) $\text{In}_{0.52}(\text{Ga}_{1-y}\text{Al}_y)_{0.48}\text{As}$ 層 ($0 < y \leq x$) および $\text{In}_{0.52}(\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z)_{0.48}\text{As}$ 層 ($0 < z < y$) を交互に積層した量子井戸構造を有する層、(c) 第2の導電形を有する InP 層または $\text{In}_{0.52}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{0.48}\text{As}$ 層、(d) 第2の導電形を有する $\text{In}_{0.52}\text{Ga}_{0.48}\text{As}$ 層の各層を、順次成長させた多層構造の両面にそれぞれ電極を形成し、上記量子井戸構造の一方の端面から入射した光を他の端面から出射する導波路を形成し、光の進行方向に複数の独立した電極を設けたことにより、量子井戸に採用する材料の組成を選んで井戸幅を厚くしても、その吸収端エネルギーは変わらず有用な波長に固定でき、かつ、低い電圧印加に

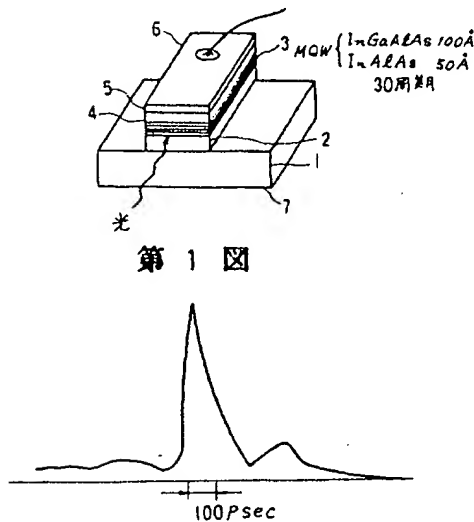
よっても大きな吸収端波長シフトがあるため、効率的な波長選択性をもつ光検出器を実現することができる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明による光検出器の第1実施例を示す説明図、第2図は上記実施例の光応答波形を示す図、第3図は本発明による第2実施例を示す図、第4図は本発明の第3実施例を示す図、第5図は本発明の第4実施例を示す図、第6図は本発明の第5実施例を示す図、第7図は従来の波長選択光検出器の斜視図、第8図は上記従来例における光吸収スペクトルの印加電圧依存性を示す図、第9図は従来の量子井戸構造における吸収ピークシフトの井戸幅依存性を示す図、第10図は $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}/\text{InP}$ 系量子井戸構造のエネルギーシフトとAl添加の関係図、第11図は $\text{InGaAlAs}/\text{InAlAs}$ 量子井戸構造の吸収電流スペクトルの電圧依存性を示す図、第12図は $\text{InGaAsP}/\text{InP}$ 系量子井戸構造のエネルギーシフトとP添加の関係を示す図である。

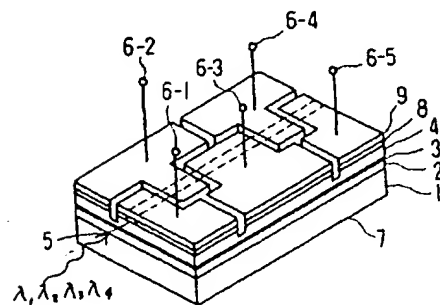
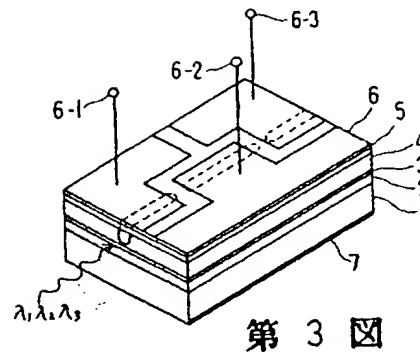
- 1…基板
- 2…第1導電形クラッド層
- 3…多重量子井戸構造
- 4…第2導電形クラッド層
- 5…キャップ層
- 6、6-1、6-2、6-3、6-4、6-5…p側電極
- 7…n側電極

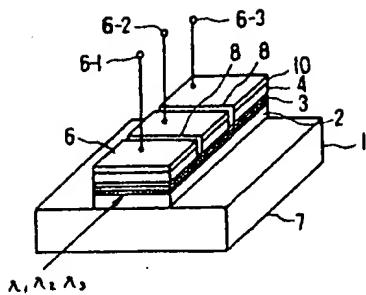
特許出願人 日本電信電話株式会社
代理人 弁理士 中村 純之助



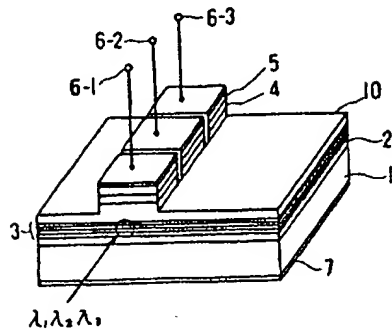
- 1:基板
- 2:第1導電形クラッド層
- 3:多重量子井戸構造
- 4:第2導電形クラッド層
- 5:キャップ層
- 6、6-1、6-2、6-3、6-4、6-5:p側電極
- 7:n側電極

第2図

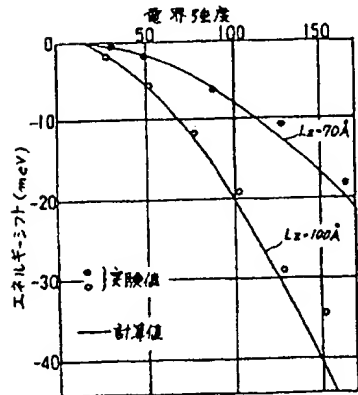




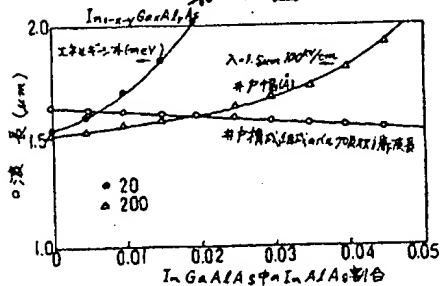
第 5 図



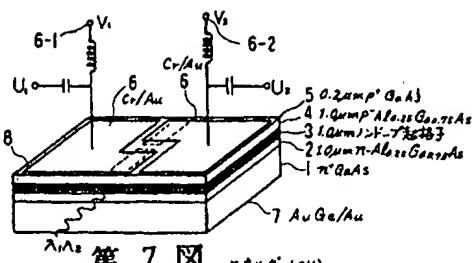
第 6 図



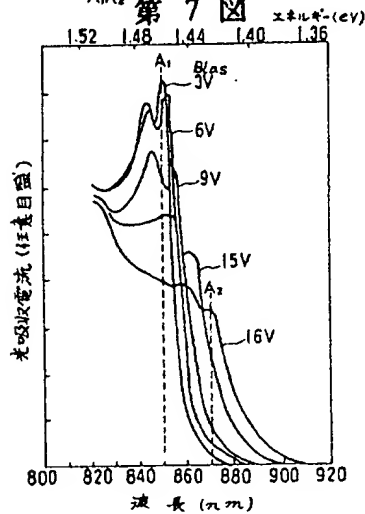
第 9 図



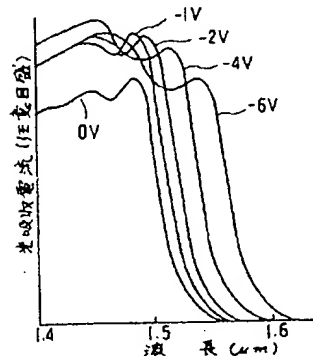
第 10 図



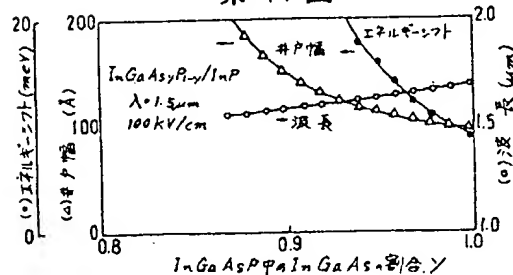
第 7 図



第 8 図



第 11 図



第 12 図